

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

**Fizikalno-kemijski čimbenici vode pri akvaponskom
uzgoju salate (*Lactuca sativa* L.) i sjevernoafričkog
soma (*Clarias gariepinus*)**

DIPLOMSKI RAD

Marija Megla

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:
Ribarstvo i lovstvo

**Fizikalno-kemijski čimbenici vode pri
akvaponskom uzgoju salate (*Lactuca sativa* L.) i
sjevernoafričkog soma (*Clarias gariepinus*)**

DIPLOMSKI RAD

Marija Megla

Mentor: doc. dr. sc. Daniel Matulić

Zagreb, 2017.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Marija Megla**, JMBAG 0178083729, rođena dana 29.04.1992. u Bjelovaru, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

Fizikalno-kemijski čimbenici vode pri akvaponskom uzgoju salate (*Lactuca sativa* L.) i sjevernoafričkog soma (*Clarias gariepinus*)

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznata s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____

Potpis studentice

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE
O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studentice **Marije Megla**, JMBAG 0178083729, naslova

Fizikalno-kemijski čimbenici vode pri akvaponskom uzgoju salate (*Lactuca sativa* L.) i sjevernoafričkog soma (*Clarias gariepinus*)

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____, dana _____.

Povjerenstvo:

potpisi:

- | | | | |
|----|-------------------------------|--------|-------|
| 1. | doc. dr. sc. Daniel Matulić | mentor | _____ |
| 2. | doc. dr. sc. Tea Tomljanović | član | _____ |
| 3. | doc. dr. sc. Sanja Fabek Uher | član | _____ |

Sadržaj

1.UVOD	1
1.1.Cilj istraživanja.....	5
2.MATERIJALI I METODE	6
2.1.Opis pokusa	6
2.2. Akvaponski sustav.....	6
2.3.Primjenjena metodika istraživanja.....	7
3. REZULTATI I RASPRAVA	9
3.1. Fizikalni i kemijski parametri vode	9
3.1.1. Temperatura vode	9
3.1.2. pH vrijednosti vode.....	11
3.1.3. Elektroprovodljivost	13
3.1.4. Koncentracija otopljenog kisika/zasićenost vode kisikom	14
3.1.5. Amonijak.....	16
3.1.6. Nitriti.....	17
3.1.7. Nitrati	18
3.1.8. Fosfor	19
3.1.8. Slobodni klor.....	20
3.1.9. Kalij.....	21
3.2. Sjevernoafrički som i salata.....	22
3.3. Interpretacija rezultata	23
4. ZAKLJUČCI	25
5. LITERATURA.....	26
ŽIVOTOPIS	29

Sažetak

Diplomskog rada studentice **Marije Megla** naslova:

Fizikalno-kemijski čimbenici vode pri akvaponskom uzgoju salate (*Lactuca sativa* L.) i sjevernoafričkog soma (*Clarias gariepinus*)

Akvaponski sustavi su integrirani multitrofični sustavi koji inkorporiraju proizvodnju biljaka bez uporabe tla. Primarni cilj akvaponskog sustava je iskoristiti nutrijente iz akvakulturnog uzgoja u uzgoju biljaka. Cilj istraživanja je bio utvrditi fizikalno-kemijske čimbenike vode akvaponskog sustava te usporediti s vrijednostima otopine u hidroponskom sustavu. Akvaponski sustav je obuhvatio deset uzgojnih tankova s jedinkama sjevernoafričkog soma (*Clarias gariepinus*) povezanih s dva bazena u kojima se uzgajala salata (*Lactuca sativa* L.). Kontrolnu varijantu u istraživanju predstavljao je plutajući hidropon u kojem se koristila standardna hranjiva otopina za uzgoj lisnatog povrća. Rezultati istraživanja ukazuju na nepovoljne i nestabilne koncentracije kisika, nitrita i pH vrijednosti u akvaponskom sustavu što su ograničavajući faktori u uspješnom održavanju takve vrste sustava. Pojava patogena i nakupljanje mulja u akvaponskim bazenima ukazali su na lošu sterilizaciju hranjive otopine. Prema rezultatima istraživanja, hidroponski sustav pokazao se kao uspješniji u uzgoju salate.

Ključne riječi: Fizikalno-kemijski parametri, akvaponski sustav, sjevernoafrički som, salata, pH, kisik, nitriti

Summary

Of the master's thesis - student **Marija Megla**, entitled:

**Physico-chemical factors of water in aquaponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L.)
and North African catfish (*Clarias gariepinus*)**

Aquaponic systems are integrated multitrophic systems that incorporate plant production without soil. The main goal of an aquaponic system is using the nutrients from the aquaculture system for plant production. The goal of this research was to determine water parameters in the aquaponic system and compare them to the values from the hydroponic system. The aquaponic system consisted of ten growing tanks with African catfish (*Clarias gariepinus*) connected to two pools with lettuce (*Lactuca sativa* L.). For the control variant in the experiment, a floating hydroponic system with a standard nutrient solution was used. Results showed unfavorable and unstable levels of oxygen, nitrites, and pH values which were the limiting factor in the successful maintenance of the aquaponic system. The presence of pathogens and sludge accumulation in aquaponic systems were the indicator of bad sterilization of the nutrient solution. According to the results of the research, the hydroponic system proved to be a better option for growing lettuce.

Key words: Physico-chemical water parameters, aquaponic system, African catfish, lettuce, pH, oxygen, nitrites

1.UVOD

Akvaponi predstavljaju kombinirani uzgoj riba i biljaka, u kojem se voda, obogaćena tvarima iz metabolizma riba, koristi u uzgoju biljaka. Biljke za rast esencijalno trebaju makro- i mikro nutrijente. Hidroponske otopine sadrže dobro definirane udjele esencijalnih elemenata u ionskom obliku. U akvaponskom sustavu, hranjive tvari za biljke dolaze iz ribljeg otpada (izlučevine škrge, urin i izmet), u krutom i topivom obliku te su bogata hranjivima koje biljka asimilira (Graber, 2009.). Akvaponi predstavljaju održiv način poljoprivredne proizvodnje koji nudi mnogobrojne ekološke i ekonomske prednosti kao što su zajedničko postavljanje, upravljanje i troškovi infrastrukture akvakulturnog i hidroponskog podsustava, izbjegavanje problema zbrinjavanja nusprodukata uzgoja riba tj. pripreme hranjive otopine za uzgoj biljaka u hidroponskom uzgoju, smanjenje potrošnje vode, minimalan utjecaj na okoliš te povećanje profita kroz istovremenu proizvodnju dva tržišno vrijedna proizvoda (Rakocy, 1999.).

Akvapon je definiran i kao integrirani multitrofični sustav koji inkorporira recirkulacijski akvakulturni sustav kao temeljnu tehnološku komponentu. Recirkulacijski akvakulturni sustav (RAS) podrazumijeva sustav protoka u kojem se voda iznova koristi nakon niza predtretmana i filtracijskih postupaka, sterilizacije, zagrijavanja, te oksigenacije. Tipičan scenarij postupaka obrade vode u RAS-u uključuje: dekantaciju, tj. taloženje i odstranjivanje krutog otpada (čestice $>200\text{ }\mu\text{m}$); mehanička filtracija, kojom se odstranjuju fine frakcije suspendirajućih čestica ($<100\text{ }\mu\text{m}$); biološka filtracija, kojom se pomoću bakterijskih sojeva (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) toksični spojevi (amonijak) nastali oksidacijom produkata metabolizma i nepojedene hrane prevode u manje toksične (nitriti) do potpuno neškodljivih spojeva (nitrati); sterilizacija uz pomoć UV svjetla ili ozona; termoregulacija; nadomještanje izgubljenog kisika aeracijom (Timmons i Ebeling, 2010.). Kako bi se održali optimalni uvjeti za rast biljaka, potrebno je redovito mjeriti fizikalno-kemijske čimbenike vode, koncentracije mikro- i makronutrijenata u tankovima s ribama te bazenima za uzgoj biljaka (Goddek, 2015.).

U istraživanju se uzgajala strana riblja vrsta – sjevernoafrički som (*Clarias gariepinus*), za koju je bilo potrebno tražiti dozvolu korištenja od Ministarstva zaštite okoliša i prirode te poštivati Članak 86. Zakona o zaštiti prirode (Narodne novine, broj 80/2013) prema kojemu je vlasnik uzgajanih jedinki dužan spriječiti bijeg ili uvođenje u prirodu tih jedinki. Također, prema uputama Ministarstva zaštite okoliša i prirode, istraživanje se moralo

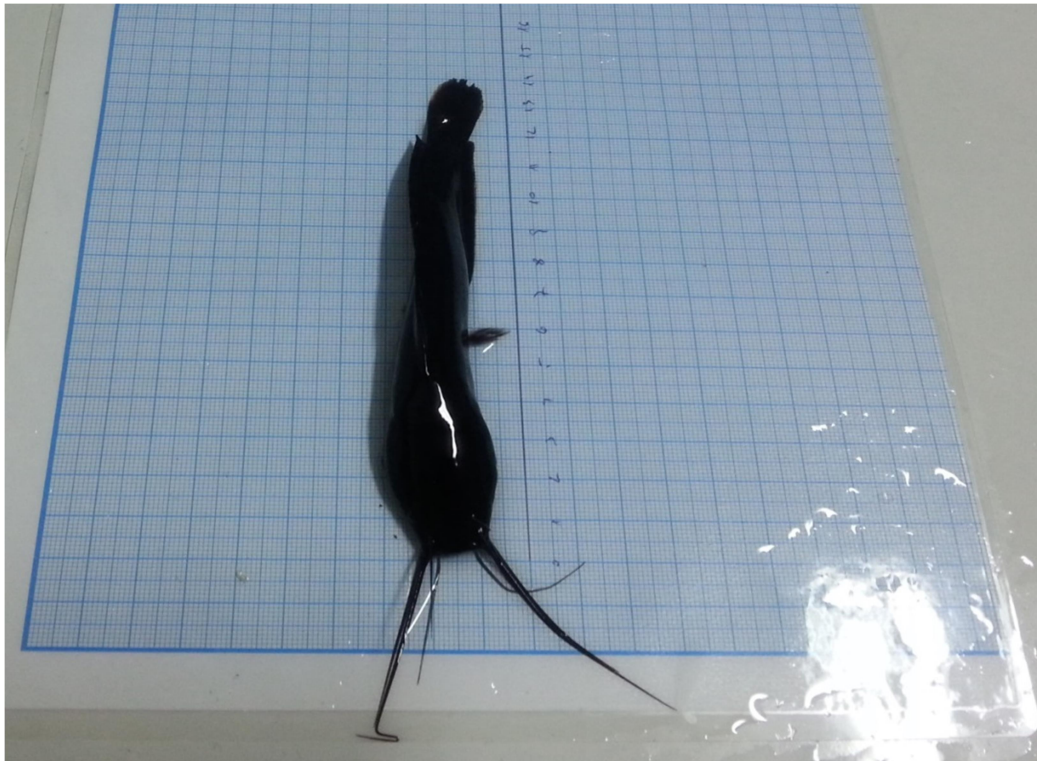
odvijati u kontroliranim uvjetima, koji podrazumijevaju da se strana vrsta koristi u zatvorenim i/ili ograđenim i/ili na drugi način izoliranim sustavima, iz kojih ne mogu pobjeći, širiti se i/ili biti uklonjene od strane neovlaštene osobe.

Vrsta *Clarias gariepinus* - sjevernoafrički som dobila je naziv prema mjestu porijekla, odnosno prema rijeci Oranje (eng. Gariep/Orange River) u južnoj Africi (David i sur., 2010.), ali se prirodno može naći u gotovo svim vodotocima rijeka Afrike (FAO, 2017.). Ovu vrstu karakterizira otpornost na visoke temperature, kao i otpornost na nisku koncentraciju otopljenog kisika (David i sur., 2010.). Zahvaljujući razvijenom dišnom sustavu, odnosno labirintskom organu za disanje koji proizlazi iz škržnih lukova (Slika 1), ova vrsta može preživjeti i kretati se kratko vrijeme po kopnu (FAO, 2017.).



Slika 1. *Clarias gariepinus* - labirintski organ za disanje (Foto: Matulić, D.)

Sjevernoafrički som (Slika 2) izduženog je oblika, s velikom glavom i tamnim malim očima. Ovu vrstu karakteriziraju velika terminalna usta i 4 para brkova. Dorzalne i analne peraje su dugačke, no nemaju trvde žbice u dorzalnim perajama, kao ni masnu peraju. Anteriorni kraj pektoralne peraje je pilast, a kaudalna peraja je zaobljena. Boja varira od pješčano-žute preko sive do maslinaste s tamno smeđim mrljama, a trbuh je bijele boje (FAO, 2017.). Spolnu zrelost dostižu s 34 cm dužine, a uobičajena dužina sjevernoafričkog soma je 90 cm. Najveća zabilježena dužina ove vrste je 170 cm, najveća težina 60 kg, a starost 15 godina (Fishbase, 2017.). Jedna od važnijih karakteristika u ponašanju ove vrste je kanibalizam (Olufeagba i Okomoda, 2016.).



Slika 2. Sjevernoafrički som (*Clarias gariepinus*) (Foto: Megla, M.)

Biljni dio akvaponskog sustava činila je salata (*Lactuca sativa* L.) (Slika 3), koja pripada redu Asterales, porodici Asteraceae, rodu *Lactuca*. Kako divlja vrsta salata *Lactuca sativa* L. nije poznata, drži se da su kulturne forme nastale mutacijom iz divlje vrste *Lactuca serriola* Torner (Lešić i sur., 2004.). Područje podrijetla salate je zapadna Azija, a naročito Egipat, gdje je u kulturi poznata već 2500 godina (Lešić i sur., 2004.). Salata je jednogodišnja biljka, glavni korijen joj je vretenast, mesnat i razgranat, a glavnina korijena nalazi se u gornjih 30 cm tla. U vegetativnoj fazi stabljika je skraćena, a u generativnoj se naglo produžuje i dosegne do 1,2 m visine (Lešić i sur., 2004.). Lišće u vegetativnoj fazi tvori rozetu, te se u toj fazi ubire i svježa koristi kao namirnica.



Slika 3. Salata u hidroponskom uzgoju

(Izvor: Advisory Services 2017. <http://democracycollaborative.org/content/advisory-services>)

1.1.Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je utvrditi fizikalno-kemijske čimbenike vode (temperatura, elektroprovodljivost, količina otopljenog kisika, pH, nitrati, nitriti, amonijak, fosfor, klor i kalij) akvaponskog sustava te usporediti s vrijednostima otopine u hidroponskom sustavu.

2.MATERIJALI I METODE

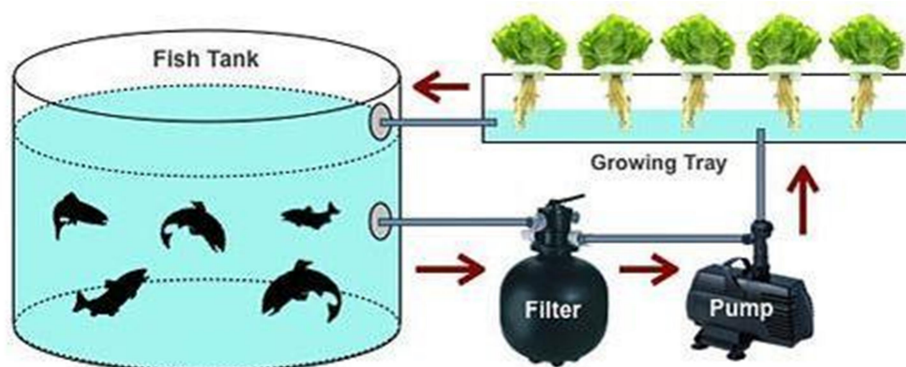
2.1.Opis pokusa

Istraživanje se provodilo na pokušalištu Zavoda za ribarstvo, pčelarstvo, lovstvo i specijalnu zoologiju u trajanju od 18. travnja do 30. svibnja 2016. Akvaponski sustav je obuhvatio deset uzgojnih tankova s jedinkama sjevernoafričkog soma (*Clarias gariepinus*) povezanih s dva bazena u kojima se uzgajala salata (*Lactuca sativa* L.). Kontrolnu varijantu u istraživanju predstavljao je plutajući hidropon u kojem se koristila standardna hranjiva otopina za uzgoj lisnatog povrća. Analize fizikalno-kemijskih čimbenika utvrđivale su se uređajima HI83200 Multiparameter Photometer i EDGE Multiparametar. Navedeni čimbenici analizirali su se u uzgojnim tankovima s ribama, akvaponskim bazenima i hidroponskom bazenu. Rezultati su se statistički obradili uz pomoć računalnog programa Microsoft Excel 2010.

2.2. Akvaponski sustav

U deset staklenih uzgojnih tankova (115 l) bilo je nasadeno 700 jedinki sjevernoafričkog soma različitih veličina. Razinu otopljenog kisika održavali su aeratori (zračne pumpe) Tetra APS 400 (230 V) i Eheim Typ 3704 010. Stalni protok vode (2,5 min l⁻¹) u akvarijima osiguravale su pumpe za vodu New-Jet 400 (220-240 V-50 Hz 7W). Biološka filtracija unutar sustava provodila se u posebnoj pregradi unutar akvarija veličine 10 x 18 cm koja je imitirala unutarnji biofilter. Na vrhu pregrade nalazila su se sintetička vlakna i pamučna vata koje su služile za mehaničku filtraciju i odstranjivanje krupnijih čestica. Za biološku filtraciju služila su dva sloja akvarijskih biospužvi, između kojih se nalazio sloj poroznih keramičkih cilindara velike dodirne površine. Nakon ispumpavanja iz bazena s ribama, voda je prvo dolazila u mehanički, odnosno, biofilter gdje se pročistila od krutih čestica te obogatila nitratima potrebnima biljkama. Pročišćena i hranjivima bogata voda se uz pomoć pumpi dovodila u bazene s biljkama koje su koristile hranjiva za svoj rast. Nakon toga, voda se ponovo vraćala u bazen s biljkama i ciklus se ponavljao (Slika 4). Zbog uvjeta pokusne sredine koji nisu omogućavali dovoljno dnevne svjetlosti, korištena je umjetna rasvjeta jačine 3x18 W u omjeru 12h:12h (svjetlo:mrak). Akvaponske i hidroponske jedinice sastojale su se od bazena dimenzija 2 m x 1,2 m x 0,25 m i plutajućih polistirenskih ploča dimenzija 96 mm x 60 mm x 2,7 mm. U svakom bazenu nalazile su se četiri polistirenske

ploče s otvorima razmaka 0,2 m x 0,2 m. U otvore na pločama umetnute su košarice krutog polietilena s presadnicama salate čime je ostvaren sklop od 25 biljaka/m². Košarice su bile ispunjene ekspanziranom glinom. U svakom akvaponskom, odnosno, hidroponskom bazenu bilo je po 50 biljaka.



Slika 4. Shematski prikaz akvaponskog sustava (Izvor: Aquaculture technologies 2013.

<http://www.aquaculturepk.com/aquaponics.php>)

2.3.Primjenjena metodika istraživanja

Uređajem EDGE Multiparametar (Slika 5) tri puta tjedno analizirali su se fizikalno-kemijski parametri vode. Koristeći tri različite sonde (Slika 6) namijenjene navedenom uređaju utvrdile su se pH vrijednosti, količina otopljenog kisika, temperatura i elektroprovodljivost. Koncentracija otopljenog kisika mjerena je u miligramima po litri ($\text{mg l}^{-1} \text{O}_2$), a zasićenost vode kisikom izražena je u postocima (%). Temperatura je bila određivana u °C, a elektroprovodljivost u $\mu\text{S cm}^{-1}$. Kemijska analiza parametara provodila se jednom tjedno uz pomoć spektrofotometra HI83200. Ovaj uređaj zahtijevao je pripremu vode za analizu posebnim reagensima za svaki od analiziranih kemijskih parametara.

Svi kemijski parametri izraženi su u miligramima po litri (mg l^{-1}). Koncentracija nitrita provjeravala se u tri oblika: nitriti u ionskom obliku (NO_2^-), natrijevi nitriti (NaNO_2) i nitritni dušik ($\text{NO}_2\text{-N}$). Nitrati su se provjeravali u dva oblika, ionskom (NO_3^-) i kao nitratni dušik ($\text{NO}_3\text{-N}$). Koncentracija fosfora se provjeravala u dva oblika, ionskom (PO_4^{3-}) i kao fosforov pentoksid (P_2O_5).



Slika 5. EDGE Multiparametar.

(Izvor: Hanna Instruments 2017. <http://hannainst.com/edge-ph.html>)



a)

b)

c)

Slika 6. Sonde za mjerenje a) elektroprovodljivosti, b) količine otopljenog kisika, c) pH vrijednosti. (Izvor: Hanna Instruments 2017. <http://hannainst.com/edge-ph.html>)

3. REZULTATI I RASPRAVA

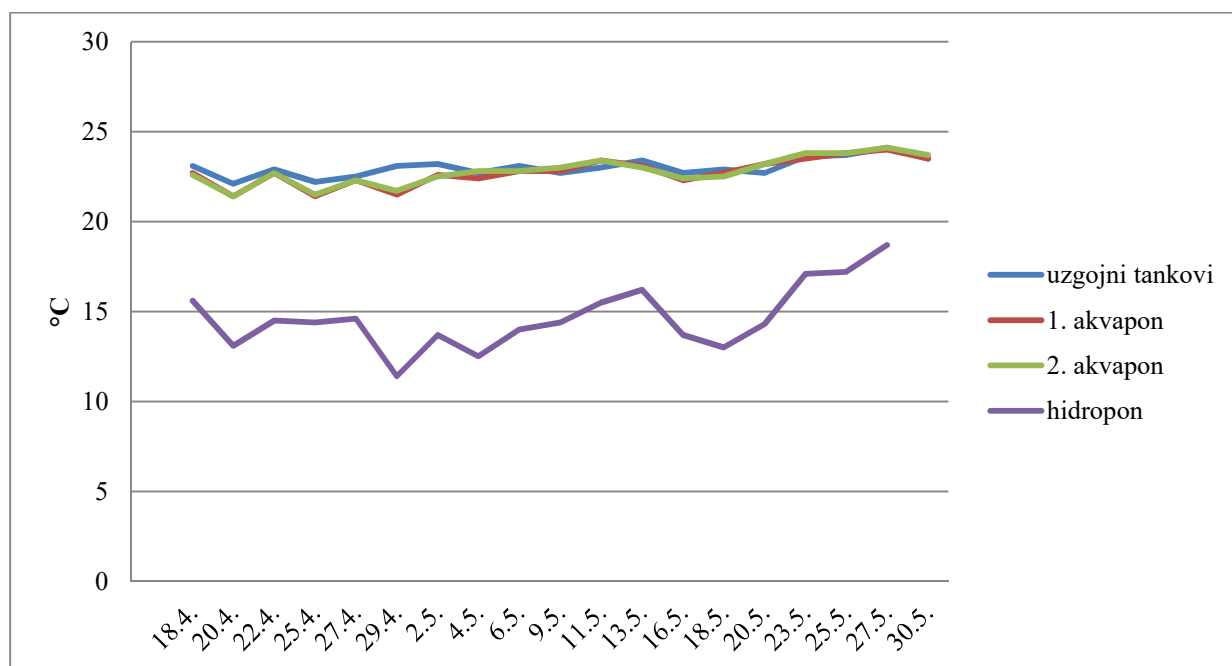
3.1. Fizikalni i kemijski parametri vode

Voda je medij kroz koji su svi esencijalni makro i mikronutrijenti transportirani do biljaka, te kroz koji ribe uzimaju kisik. Svaki fizikalni i kemijski parametar ima utjecaj na organizme u akvaponском sustavu, odnosno, na ribe, biljke i bakterije. Za pravilno upravljanje bitno je utvrditi kakav utjecaj svaki parametar ima na cjelokupni sustav. Svaki organizam u vodi ima svoj optimalni raspon unutar kojeg se određeni parametar vode može kretati, izvan kojeg je pod stresom ili u smrtonosnoj opasnosti. Razina tolerancije za svaki parametar je relativno slična kod riba, biljaka i bakterija u sustavu, no treba pazljivo pratiti parametre vode kako ne bi došlo do prelaska optimalnih vrijednosti parametara koji mogu dovesti do letalnih posljedica za neki od organizama u sustavu (Foucard, 2017.).

3.1.1. Temperatura vode

Previsoke ili preniske temperature koje su smrtonosne za pojedinu vrstu mogu odrediti raspodjelu i gustoću populacije. Međutim, raspodjelu i gustoću određuje i interakcija s okolišnim faktorima koji ili su naklonjeni ili nisu ribljoj reprodukciji i rastu (Sciencefair Water, 2017.). Veliko povišenje ili sniženje temperature vode uzrokuje slabije iskorištavanje riblje hrane, što za posljedicu ima poremećaj rasta riba. Visoka temperatura vode, posebice u prisustvu veće količine organske tvari i amonijaka, uvjetuje pojavu različitih bolesti riba (Lennard, 2012.). Izvan temperaturnog optimuma za pojedinu riblju vrstu, ribe počinju biti pod stresom. Vrijeme u kojem riba može živjeti pod stresom ovisi o nekoliko faktora, a jedan od važnijih je otklon temperature od optimuma te vrsti ribe koja se uzgaja. Najčešće posljedice povišenja temperature vode su: smanjenje količine otopljenog kisika i samim time dostupnosti kisika ribama, ubrzanje metabolizma riba što zahtjeva veću potrošnju kisika kojeg u toj situaciji nedostaje, topljivost mnogih toksičnih tvari raste kako raste i temperatura, povećanje razvoja patogena (u mulju i opadnoj vodi) i ugibanje ribe. Maksimalna temperatura koju riba može toletirati ovisi, osim o njenim optimalnim potrebama, i o dostupnoj količini kisika, adaptaciji u okolini te količini ostalih polutanata u vodi (Sciencefair Water, 2017.).

Tijekom provedenog istraživanja temperatura vode u akvaponskom sustavu se kretala između 21,4 °C do 23,6 °C u uzgojnim tankovima za ribe i akvaponskim bazenima, dok je u hidroponskom bazenu temperatura vode bila nešto niža – između 11,4 °C i 17,1 °C (Slika 7).



Slika 7. Temperatura vode u uzgojnim tankovima, oba akvaponska te u kontrolnom hidroponskom bazenu

Kako je vrsta sjevernoafričkog soma (*Clarias gariepinus*) prilagođena životu u toplijim vodama, optimalna temperatura vode u akvaponskom sustavu za ovu vrstu se kreće između 27,5 i 28,8 °C (Goddek, 2015.). Izmjerene vrijednosti temperature u akvaponskom sustavu su bile nešto niže od optimalnih sa srednjom prosječnom temperaturom od 22,5 °C. Temperatura vode za uzgoj ove vrste može biti visoka i do 30 °C, što također pridonosi i razvoju nitrificirajućih bakterija u biološkom filteru (Goddek, 2015.). Većina biljaka, za razliku od riba, zahtijevaju nešto nižu temperaturu vode, između 20 °C i 25 °C (Goddek, 2015.) što predstavlja izazov u uspješnom održavanju akvaponskog sustava.

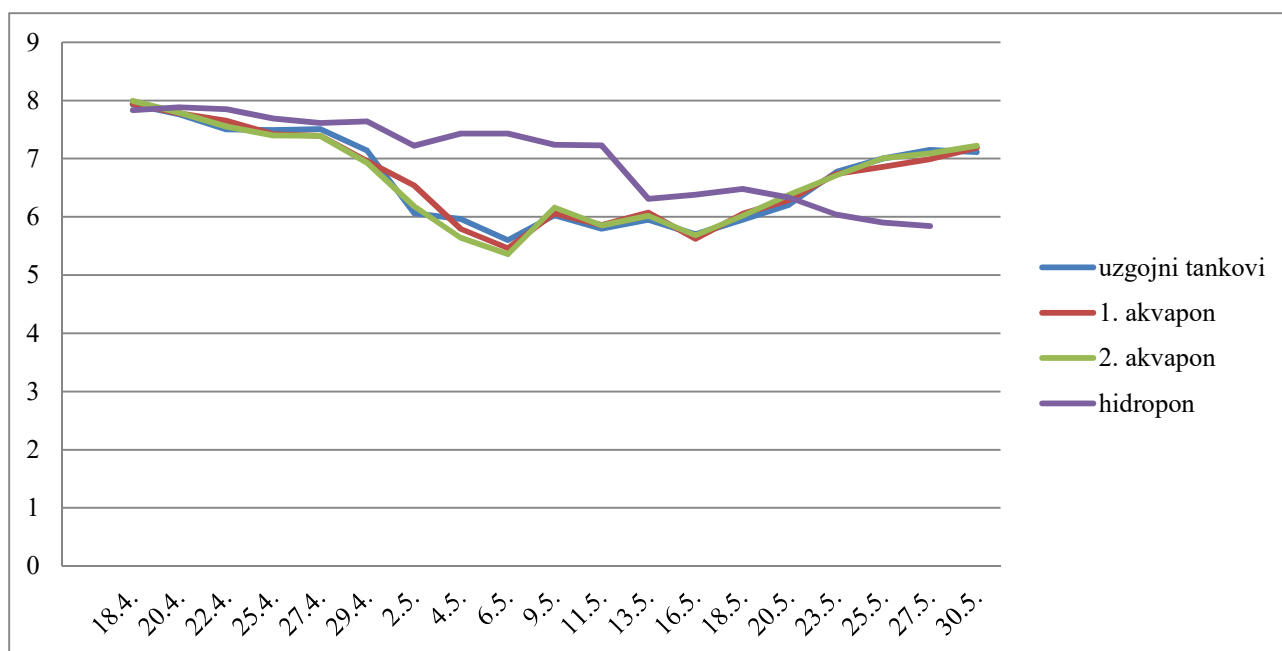
Za salatu u akvaponskom i hidroponskom uzgoju optimalna temperatura je između 18 i 24 °C (Tyson, 2014.). U istraživanom hidroponskom sustavu temperatura je bila niža od optimalne sa srednjom prosječnom temperaturom od 14,2 °C.

3.1.2. pH vrijednosti vode

pH vrijednosti pokazuju intenzitet kiselosti ili bazičnosti/lužnatosti vode. Vrijednosti se kreću između 0 i 14 s tim da je 7,0 neutralan. Vrijednosti ispod 7,0 su kisele (prevladava H^+ ion), a vrijednosti iznad 7,0 su bazične ili lužnate (prevladava OH^- ion). pH vrijednosti većine kopnenih i površinskih voda su puferirane anorganskim ugljikom i kreću se između 5,0 i 9,0. Niske pH vrijednosti povećavaju topljivost nekih teških metala kao što je aluminij, bakar i cink koji su u visokim koncentracijama toksični za ribe, te se također povećava toksičnost sumporovodika za ribe. Viša koncentracija nitrita i dušika u vodi ovisi o pH vrijednosti; npr. pri temperaturi od 20 °C i pH vrijednosti 7,0, molarni udio nitrita (NO_3^- -N) je 0,004, ali pri pH vrijednosti 10 i istoj temperaturi, NO_3^- -N se povećao na 0,8 (Molleda i sur. 2007.).

Optimalne pH vrijednosti vode u akvaponskom sustavu za uzgoj sjevernoafričkog soma (*Clarias gariepinus*) kreću se između 5,6 i 7,3 (Goddek, 2015.). Tijekom istraživanja, pH u ispitivanim uzgojnim tankovima sa ribama i akvaponskim jedinicama se kretao između 5,36 i 7,99, što upućuje na izrazito nestabilnu pH vrijednost, koja je bila uzrokovana promjenama u održavanju samog sustava te promjenama u količini hrane i frekvenciji hranjenja riba.

Za salatu (*Lactuca sativa* L.) u akvaponskom uzgoju optimalan pH vode je 8, dok se u hidroponskom uzgoju ta vrijednost kreće između 5 i 6,2 (Goddek, 2015.). Prema Rakocyu (2012.) optimalna pH vrijednost u akvaponskom sustavu je oko 7 jer se na taj način postiže balans između potreba biljaka za usvajanjem hranjiva i potreba nitrificirajućih bakterija. Također, istraživanje Tysona (2014.) pokazalo je da pH vrijednosti oko 7,5 povećavaju aktivnost nitrifikacijskih bakterija no održavanje te pH vrijednosti može rezultirati u smanjenju mikronutrijenata potrebnog biljkama. Srednja prosječna pH vrijednost u ispitivanim akvaponskim jedinicama bila je 6,76, a u hidroponskom bazenu 6,96. Najviša pH vrijednost u hidroponskom sustavu je bila 7,88, te je postupno s vremenom padala do najniže vrijednosti – 6,04. Na Slici 8. je vidljivo da vrijednosti u vrijeme početka češće frekvencije hranjenja riba pH vrijednost pada, no s početkom higijenskog održavanja sustava, odnosno svakodnevnim čišćenjem uzgojnih tankova pH vrijednost počela se povećavati prema optimumu.

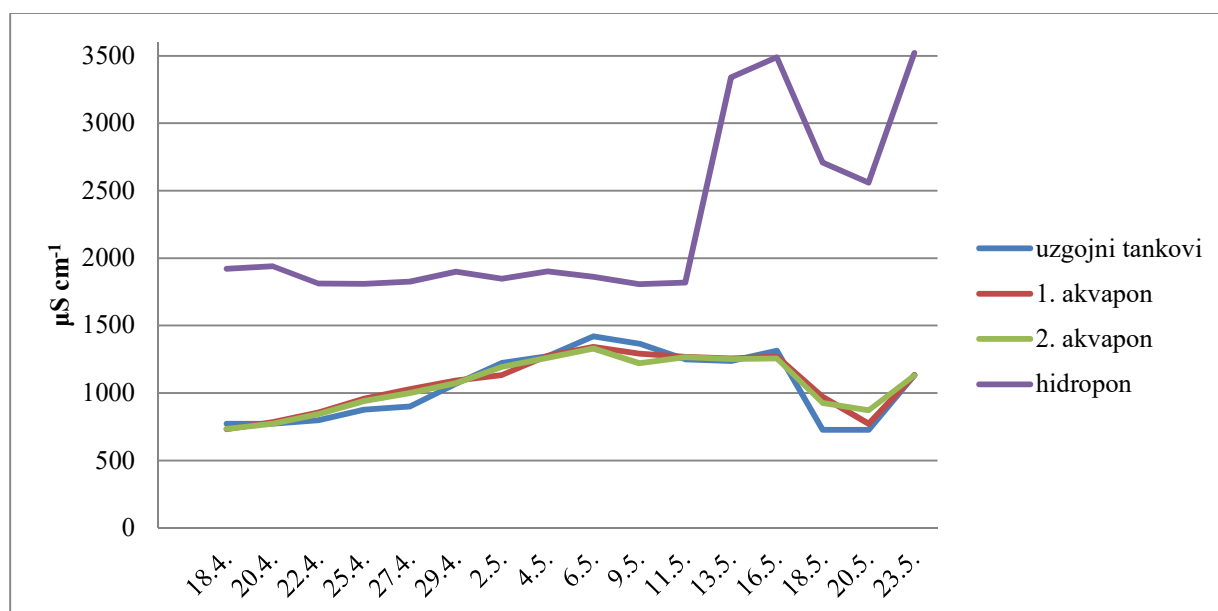


Slika 8. pH vrijednosti vode u uzgojnim tankovima, oba akvaponska te u kontrolnom hidroponskom bazenu

U akvaponskom sustavu vrlo su važne nitrobakterije i nitrosobakterije, koje čine pretvorbu amonijaka u biljci iskoristiv oblik – nitrat. Među tim bakterijama su *Nitrobacter* sp. za koje je optimalan pH 7,5, zatim *Nitrosomonas* sp. sa optimalnim pH vrijednostima između 7,0 – 7,5 te *Nistrospira* sp. koja zahtjeva pH u vrijednostima od 8,0 do 8,3. Iskorištenje nitrita od strane korijenovog sustava u akvaponskim bazenima povišuje pH, ali veći utjecaj na pH u akvaponskom sustavu ima proces nitrifikacije koji dovodi do konstantnog pada pH vrijednosti vode (Goddek, 2015.).

3.1.3. Elektroprovodljivost

Elektroprovodljivost vode može služiti kao mjera za količinu anorganskih, biljci dostupnih nutrijenata. Što je više nutrijenata, odnosno, nabijenih anorganskih iona, to je elektroprovodljivost viša (Lennard, 2012.). Uspoređujući akvaponski sustav s hidroponskim (Slika 9) može se vidjeti značajna razlika u elektroprovodljivosti. Prosječna elektroprovodljivost u uzgojnim tankovima je bila $1053 \mu\text{S cm}^{-1}$, u prvom akvaponu $1072 \mu\text{S cm}^{-1}$, u drugom akvaponu $1066 \mu\text{S cm}^{-1}$, dok je u hidroponu iznosila $2254 \mu\text{S cm}^{-1}$. Na Slici 8. može se vidjeti nagla promjena u hidroponskoj elektroprovodljivosti vode 11. svibnja, koja je uslijedila zbog dodatka nutrijenata u hidroponsku otopinu.



Slika 9. Elektroprovodljivost vode u uzgojnim tankovima, oba akvaponska te u kontrolnom hidroponskom bazenu

Idealan raspon EC vrijednosti u hidroponskoj proizvodnji lisnatog povrća kreće se između 1800 i $2500 \mu\text{S cm}^{-1}$, dok više vrijednosti otežavaju usvajanje hranjiva zbog povećanja osmotskog pritiska, a niže mogu ozbiljno ugroziti zdravlje biljaka i smanjiti prinos (Kovačević, 2015.). Prema Maynardu i Hochmuthu (1997.) maksimalna vrijednost EC u akvaponskom sustavu, pri kojoj još ne dolazi do smanjenja prinosa, iznosi $1300 \mu\text{S cm}^{-1}$, a svaki daljnji porast EC vrijednosti za $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ vodio je do smanjenja prinosa za 13 %. Foucard (2017.) navodi kako akvaponski sustav može zadovoljavajuće funkcionirati pri EC vrijednostima između 600 i $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$, no moguće je postići i vrijednosti iznad $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$. U ovom istraživanju postignute prosječne EC vrijednosti $1063 \mu\text{S cm}^{-1}$ u akvaponskom sustavu i $2254 \mu\text{S cm}^{-1}$ u kontrolnoj hidroponskoj jedinici bile su optimalne za rast salate.

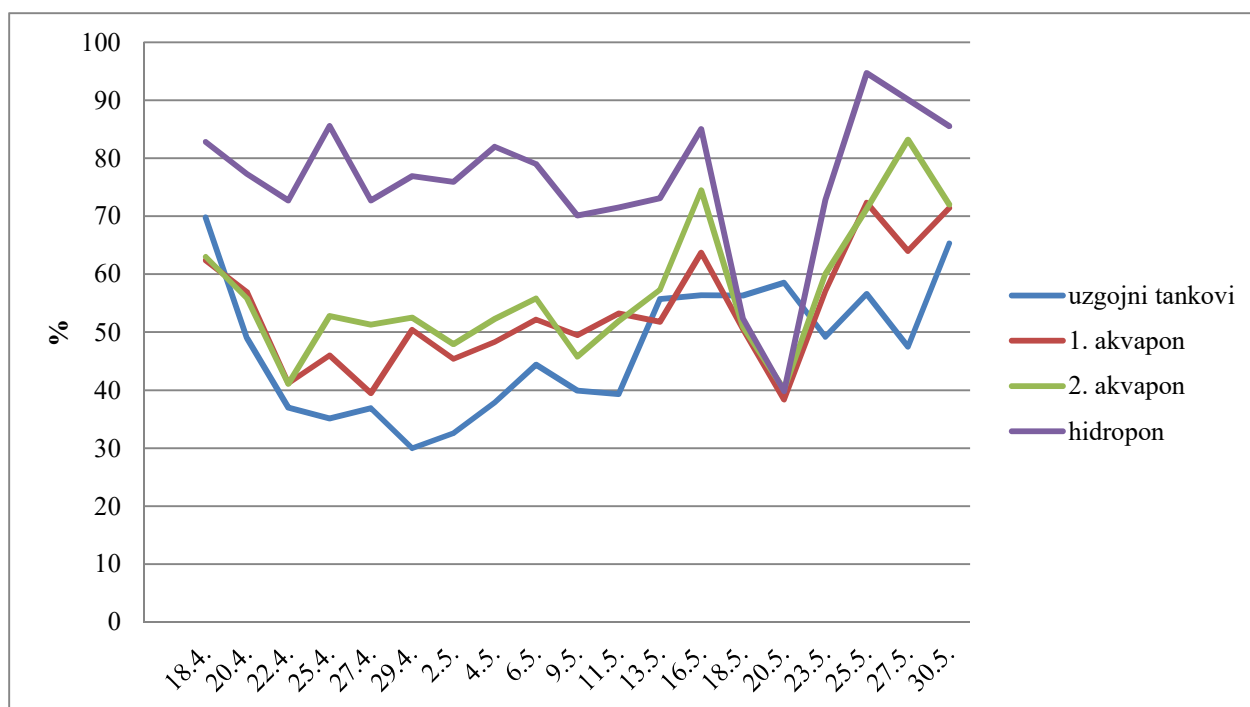
3.1.4. Koncentracija otopljenog kisika/zasićenost vode kisikom

Topljivost kisika u vodi vezana je uz temperaturu vode. Prema Antalu i Istvanu (1974.) više kisika otopit će se u hladnoj vodi nego u toploj, npr. kod 25 °C topljivost kisika u vodi je 8,3 mg l⁻¹, a kod 4 °C topljivost je 13,1 mg l⁻¹. Zasićenost kisikom je relativna mjera koja nam pokazuje postotak kisika otopljenog u vodi u odnosu na normalnu topljivost pri određenoj temperaturi. Zasićenost ispod 80 % ukazuje na povećanu potrošnju kisika.

Tijekom istraživanja prosječna koncentracija otopljenog kisika, odnosno, zasićenost vode kisikom u uzgojnim tankovima je bila 4,04 mg l⁻¹ O₂ (46,66 %), u prvom akvaponu 4,56 mg l⁻¹ O₂ (47,59 %), u drugom akvaponu 4,84 mg l⁻¹ O₂ (50,36 %), a u hidroponu 7,26 mg l⁻¹ O₂ (69,55 %). Na Slici 9. može se vidjeti nagli pad koncentracije kisika otopljenog u vodi dva akvaponska bazena 18.05.2016. i 20.05.2016. kada je koncentracija kisika dosegla vrijednost od 3,1 mg l⁻¹ O₂ (38,4 %), no najniža vrijednost je bila dosegnuta 29. travnja 2016. kada je iznosila 2,65 mg l⁻¹ O₂ (30 %). Može se pretpostaviti da je to rezultat uvođenja češće frekvencije hranjenja, kao i veće količine hrane koja je ponuđena ribama tj. zbog većeg organskog opterećenja. Pretpostavka je također, kako u biofilteru nije bilo dodanih aeratora, a zbog veće aktivnosti bakterija u biofilteru, veće koncentracije kisika trošile su se upravo ondje, stoga je došlo do naglog smanjenja koncentracije kisika u akvaponskim bazenima. Uvođenjem aeratora u biofilter razina kisika se opet povećala. Naime, kada je razina kisika ispod 4 mg l⁻¹ (60 %) sjevernoafrički som počinje biti pod stresom - prestaje uzimati hranu, također se istovremeno smanjuje pH te može doći do mortaliteta riba (Okomoda i sur., 2016.). Prema Slici 10. može se zaključiti da je razina kisika u akvaponskom sustavu često bila nešto ispod donje preporučene granice za ovu vrstu. Preporučeno je također da se za vrstu *Clarias gariepinus* voda u akvaponskom sustavu mijenja svakih četiri do osam dana kako bi se poboljšao rast i razvoj ove vrste (Okomoda i sur, 2016.).

Salata (*Lactuca sativa* L.) u akvaponskom sustavu zahtjeva koncentraciju od najmanje 3 mg l⁻¹ otopljenog O₂. Prema tome, može se zaključiti da je koncentracija otopljenog kisika bila optimalna tijekom istraživanja. Iako biljke apsorbiraju kisik kroz svoje stabljike i lišće, korijen također za svoj razvoj treba kisik (FAO, 2017.).

Koncentracije kisika u kontrolnoj hidroponskoj jedinici su u periodu istraživanja bile stabilne sa prosjekom od 7,26 mg l⁻¹ O₂ (79,61 %). Najniža izmjerena vrijednost je bila 4,5 mg l⁻¹ O₂ (40 %), a najviša 8,3 mg l⁻¹ O₂ (94 %).



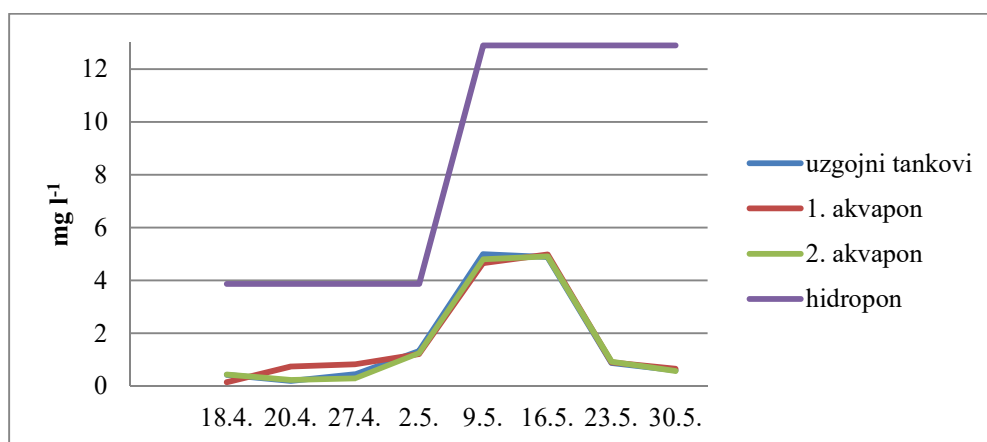
Slika 10. Prikaz zasićenosti otopljenog kisika (%) u uzgojnim tankovima, oba akvaponska te u kontrolnom hidroponskom bazenu

3.1.5. Amonijak

Amonijak (NH_4^+) je produkt ribljeg urina i izlučevina škrge te može biti otrovan ako se u velikim količinama nalazi u akvaponskom sustavu. Zbog toga se teži ka mikrobiološkoj pretvorbi amonijaka u nitratni oblik (NO_3^-). Amonijak se unutar sustava prvo pretvara u nitritni oblik (NO_2^-) pomoću nitroso-bakterija (npr. *Nitrosomonas* sp.), a zatim u nitratni oblik pomoću nitratnih bakterija (npr. *Nitrospira* sp., *Nitrobacter* sp.). Prvi oblik – nitritni je otrovan za ribe, osobito za vrstu kao što je *Clarias* sp. u intenzivnom nasadu (Duangsawasdi, 1981.). Nitriti imaju sposobnost oksidacije hemoglobina u methemoglobin, oksidacijski oblik hemoglobina na koji je kisik čvrsto vezan pa se ne predaje stanicama u ribljem krvožilnom sustavu (Duangsawasdi, 1981.). Nitratni oblik je značajno manje otrovan za ribe te služi kao hranjivo za biljke (Goddek, 2015.).

Tijekom istraživanja u akvaponskom sustavu razine amonijaka u ionskom obliku (NH_4^+) su se kretale između $0,20 \text{ mg l}^{-1}$ i $4,99 \text{ mg l}^{-1}$ (Slika 11), sa prosjekom od $1,7 \text{ mg l}^{-1}$. U neionskom obliku (NH_3) razine amonijaka su bile između $0,18 \text{ mg l}^{-1}$ i $4,91 \text{ mg l}^{-1}$, s prosjekom od $1,6 \text{ mg l}^{-1}$. Razine amonijaka u hidroponskom sustavu čitav period istraživanja su bile vrlo visoke, odnosno, nije ih bilo moguće točno izmjeriti uporabom reagensa koji su bili niskog i srednjeg raspona pomoću kojih je uređaj HI 83200 mogao očitati samo njihovu gornju granicu ($3,87 \text{ mg l}^{-1} \text{ NH}_4^+$ sa niskim rasponom i $12,09 \text{ mg l}^{-1} \text{ NH}_4^+$ sa srednjim rasponom).

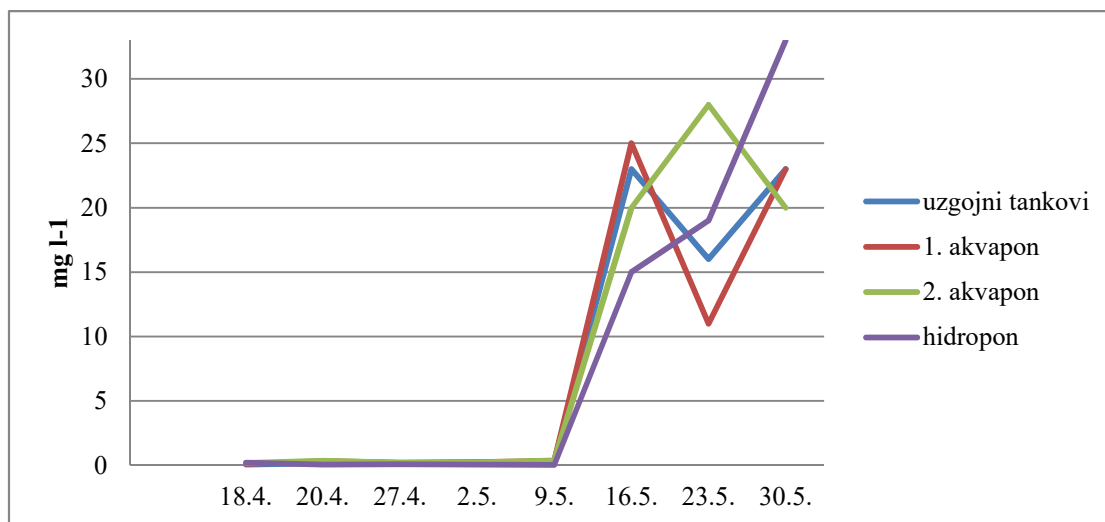
Foucard (2017.) navodi kako razina amonijaka u ionskom obliku (NH_4^+) ne bi trebala prelaziti $1,5 \text{ mg l}^{-1}$, a neionskog bi trebala biti manja od $0,01 \text{ mg l}^{-1}$, stoga je vidljivo kako su razine amonijaka bile više od preporučenih za optimalni rad akvaponskog sustava.



Slika 11. Koncentracija amonijaka u ionskom obliku (NH_4^+) u uzgojnim tankovima, oba akvaponska i kontrolnom hidroponskom bazenu

3.1.6. Nitriti

Srednja prosječna koncentracija nitrita u ionskom obliku (NO_2^-) bila je $7,86 \text{ mg l}^{-1}$ u uzgojnim tankovima, $7,53 \text{ mg l}^{-1}$ u prvom akvaponskom bazenu i $8,66 \text{ mg l}^{-1}$ u drugom akvaponskom bazenu sa salatama. No, prema Slici 12. može se vidjeti da je koncentracija nitrita naglo porasla nakon 09. svibnja 2016. te da je svoj maksimum dosegla 16. svibnja 2016. Možemo pretpostaviti da se to dogodilo zbog češće frekvencije hranjenja i veće količine hrane koja je davana ribama. Foucard (2017.) navodi kako koncentracija nitrita u akvaponskom sustavu ne bi trebala prelaziti $0,3 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_2^-$, stoga je vidljivo kako je koncentracija nitrita u ovom istraživanju bila značajno viša od preporučene, te opasna za žive organizme u njemu. Povezano sa koncentracijom nitrita osobito treba paziti na pH vrijednosti vodene otopine jer, prema istraživanju Kroupove i sur. (2005.) koncentracija nitrita raste kako pH vrijednosti vodene otopine padaju. Isti autori također navode pojavu usporavanja metabolizma kod riba kada razina kisika raste, a temperatura pada što uzrokuje smanjenje toksičnosti nitrita za riblje vrste.

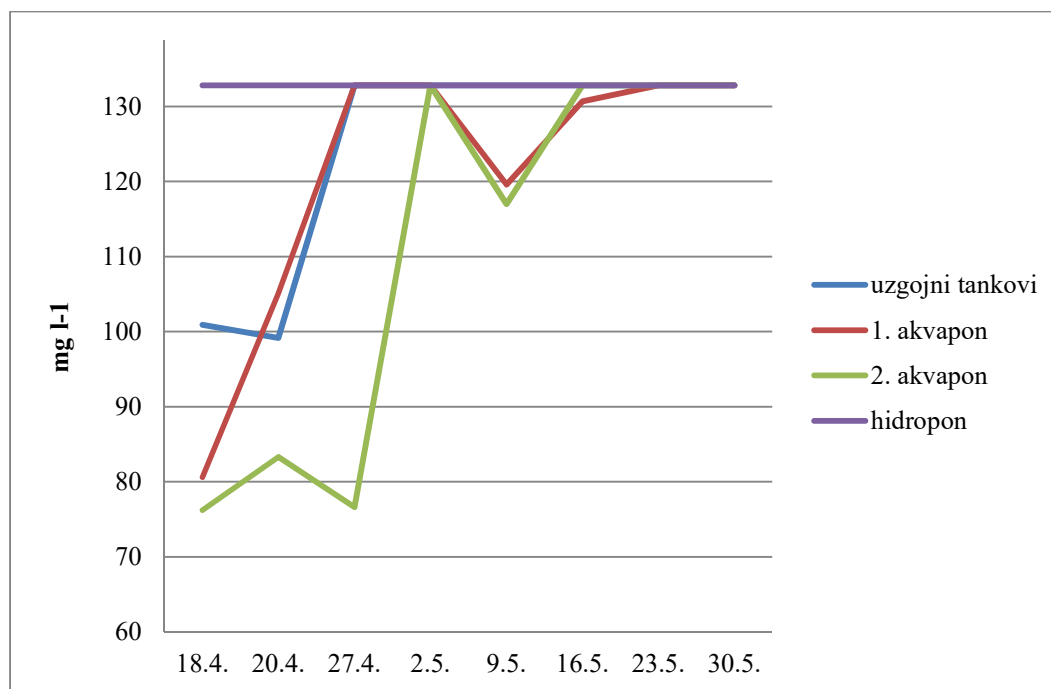


Slika 12. Koncentracija nitrita u uzgojnim tankovima, oba akvaponska i kontrolnom hidroponskom bazenu

U kontrolnoj hidroponskoj jedinici može se vidjeti sličan trend, no bez kasnijih oscilacija, od početne najniže koncentracije - $0,05 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_2^-$, izmjerene koncentracije postupno rastu do najviše krajnje koncentracije - $33 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_2^-$, koju je uređaj HI 83200 mogao očitati. Srednja prosječna koncentracija nitrita u hidroponskom sustavu je bila $8,43 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_2^-$.

3.1.7. Nitrati

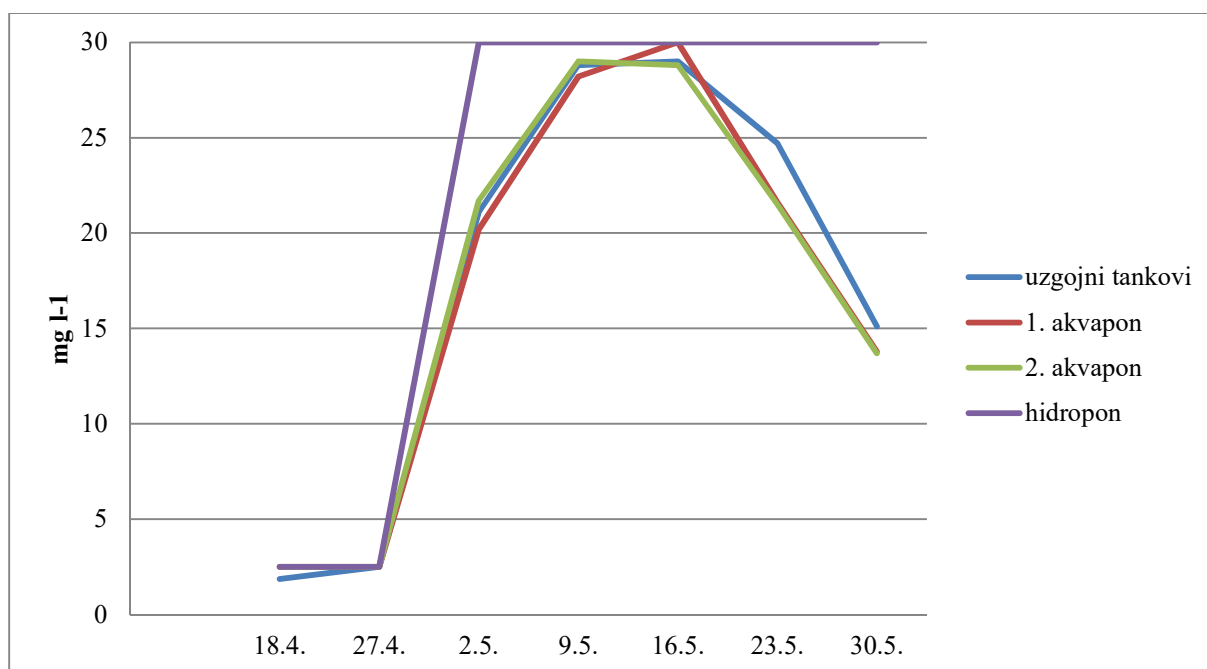
Srednja prosječna koncentracija nitrata je u ionskom obliku (NO_3^-) bila je $124,6 \text{ mg l}^{-1}$ u uzgojnim tankovima, $120,9 \text{ mg l}^{-1}$ u prvom akvaponskom bazenu i $110,5 \text{ mg l}^{-1}$ u drugom akvaponskom bazenu sa salatoma. Koncentracija nitrita često je dosežala gornju granicu ($138,8 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^-$) iznad koje uređaj HI 83200 nije mogao očitavati vrijednosti. Na Slici 13. može se vidjeti da je koncentracija nitrata u kontrolnoj hidroponskoj jedinici čitavo vrijeme bila vrlo visoka, odnosno, iznad granice očitavanja vrijednosti za uređaj HI 83200. Prema Foucardu (2017.) koncentracija nitrata u akvaponskom sustavu za njegovu optimalnu funkciju može doseći i do $250 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3^-$. No, koncentracije nitrata preko 250 mg l^{-1} mogu uzrokovati prekomjerni vegetativni rast i prekomjernu akumulaciju nitrata u listovima, što je opasno za ljudsko zdravlje (FAO, 2017.).



Slika 13. Koncentracija nitrata u uzgojnim tankovima, oba akvaponska i kontrolnom hidroponskom bazenu

3.1.8. Fosfor

Srednja prosječna koncentracija fosfora je u ionskom obliku (PO_4^{3-}) bila je $17,5 \text{ mg l}^{-1}$ u uzgojnim tankovima, $16,9 \text{ mg l}^{-1}$ u prvom akvaponskom bazenu i $17,1 \text{ mg l}^{-1}$ u drugom akvaponskom bazenu sa salatima. U kontrolnoj hidroponskoj jedinici je koncentracija fosfora čitavo vrijeme mjerenja bila previsoka za očitavanje u uređaju HI 83200. Na Slici 14. se može vidjeti da je koncentracija fosfora u akvaponskom sustavu rasla do 16. svibnja 2016. te se od tada počela smanjivati. Prema Fiedruchu i Vignaroliju (2015.) optimalna koncentracija fosfora u akvaponskom sustavu je između 10 i 20 mg l^{-1} , što ukazuje na optimalnu koncentraciju fosfora u istaživanom akvaponskom sustavu.

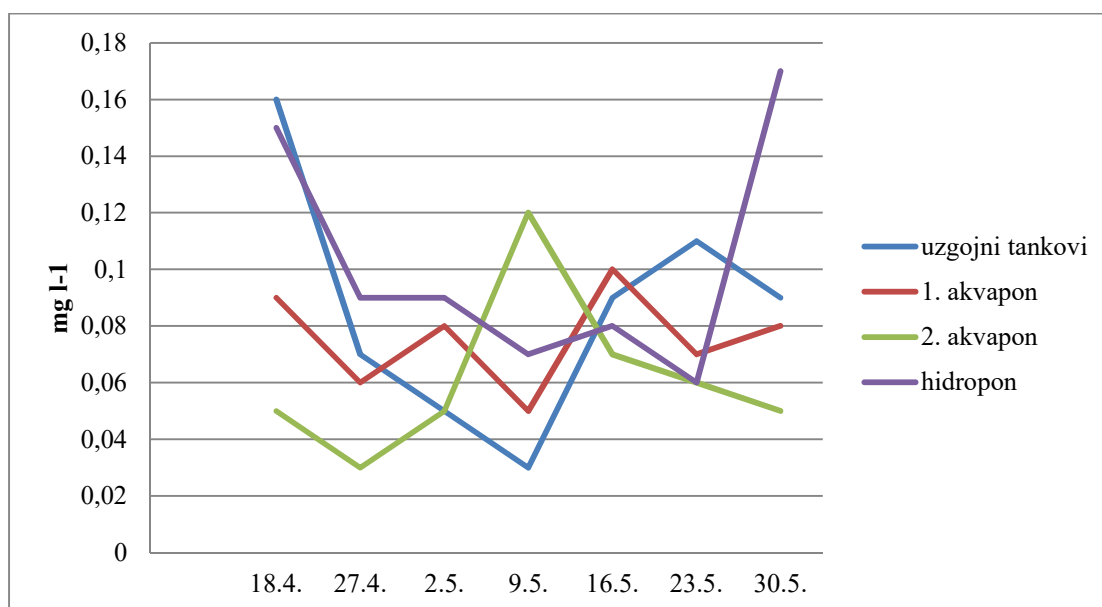


Slika 14. Koncentracija fosfora u uzgojnim tankovima, oba akvaponska i kontrolnom hidroponskom bazenu

3.1.8. Slobodni klor

Koncentracija slobodnog klora u uzgojnim tankovima bi trebala biti 0 mg l^{-1} , jer klor ubija sve nitrificirajuće bakterije i ribe u sustavu. Test na klor u vodi bi se trebao obavljati prije ubacivanja riba i bakterija u akvaponski sustav. Najlakši način uklanjanja klora iz vode je ostavljanje vode u otvorenom spremniku 48 sati, nakon čega se klor pretvara u plin i voda ostaje pročišćena od klora (Olaifa i sur., 2003.).

Koncentracija klora varirala je tijekom čitavog perioda istraživanja (Slika 15). Srednja prosječna koncentracija klora u uzgojnim tankovima bila je $0,08 \text{ mg l}^{-1}$, u prvom akvaponskom bazenu $0,07 \text{ mg l}^{-1}$, a u drugom akvaponskom bazenu $0,06 \text{ mg l}^{-1}$. U kontrolnoj hidroponskoj jedinici srednja prosječna koncentracija klora je bila $0,1 \text{ mg l}^{-1}$.

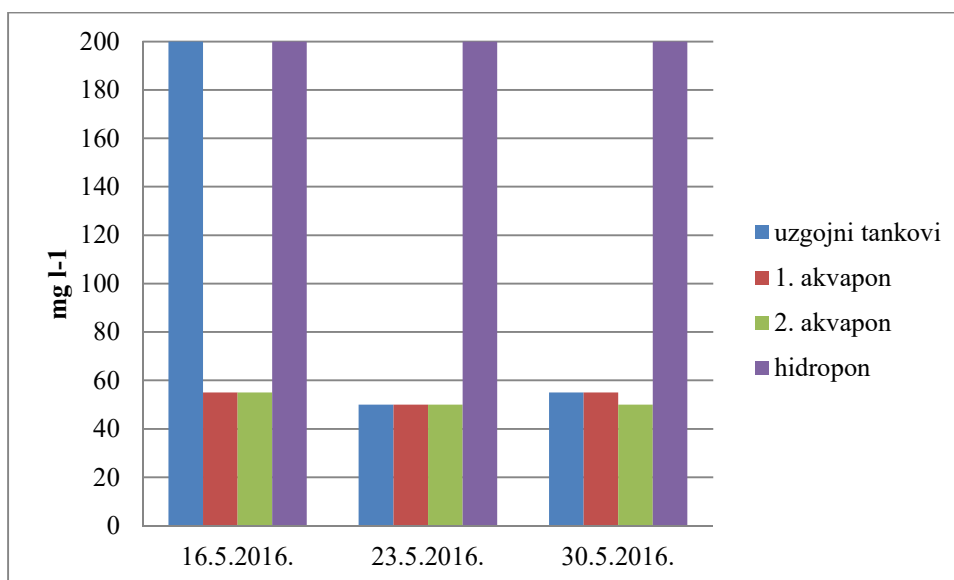


Slika 15. Koncentracija klora u uzgojnim tankovima, oba akvaponska te u kontrolnom hidroponskom bazenu

3.1.9. Kalij

Voda iz akvaponskog sustava sadrži tri do deset puta manje hranjiva u usporedbi sa hranjivima koja se koriste u hidroponskom sustavu (Graber, 2009.). Nadalje, u vodi iz akvaponskog sustava koncentracija kalija je obično znatno niža u usporedbi sa hidroponskom otopinom (Graber, 2009.). Prema Reasonsu (2014.) optimalna koncentracija kalija u akvaponskom sustavu je između 150 i 300 mg l⁻¹, dok Brooks (2015.) navodi kako je optimalna koncentracija kalija između 40 i 70 mg l⁻¹.

U istraživanju provedenom 2016. godine, srednja prosječna koncentracija kalija u uzgojnim tankovima je bila 101,7 mg l⁻¹, u prvom akvaponu 53,3 mg l⁻¹ i 51,7 mg l⁻¹ u drugom akvaponu. U kontrolnoj hidroponskoj jedinici koncentracija kalija, u periodu mjerenja, bila je iznad granice mogućnosti očitavanja za uređaj HI 83200 Multiparameter. Na Slici 16. vidljivo je kako je koncentracija kalija u hidroponskom sustavu konstantna, za razliku od akvapoknskog sustava gdje se mijenjala tijekom istraživanja.



Slika 16. Koncentracija kalija u uzgojnim tankovima, oba akvaponska te u kontrolnom hidroponskom bazenu

3.2. Sjevernoafrički som i salata

U istraživanju sjevernoafrički som zbog svoje izuzetne prilagodljivosti i visoke tolerancije na nepogodne uvjete nije imao poteškoće u samom sustavu, čak ni kada su pH vrijednosti bile ispod optimalnih za njihov rast i razvoj. Preživljavanje somova u istraživanju je bilo oko 85 % tj. njihov broj se smanjio sa 700 jedinki na oko 600 jedinki, što se može pripisati njihovim kanibalističkim karakteristikama.

Salata iz akvaponskog uzgoja se morfološki znatno razlikovala od one u kontrolnoj hidroponskoj jedinici (Slika 17). Na kraju uzgojnog perioda salata iz akvaponskog sustava je dostavljena na analizu u laboratorij Zavoda za fitopatologiju. Mikroskopskim pregledom na korijenu su ustanovljene neseptirane hife koje su se prožimale korjenčićima. Na miceliju na kojem su se formirali zoosporaniji karakteristični su za *Pythium* vrste, a na pojedinim korjenčićima su bile vidljive saprofitske nematode, što je znak truljenja napadnutog korijenja, ali i znak loše sterilizacije hranjive otopine. Nadalje, kao što se vidi na Slici 17., listovi salate iz akvaponskog sustava bili su manji, slabije razvijeni te svjetlije boje od salate iz kontrolne hidroponske jedinice. Također, vidljiva je kloroza dužinom venskog sustava listova te kloroza starijih listova. Korijen salate je bio značajno manji i slabije razvijen od korijena salate iz kontrolne hidroponske jedinice. To može upućivati, osim na probleme sa patogenima, na manjak makro- i mikro-elemenata. Na dnu avakponskih bazena nalazio se sloj mulja, što upućuje na nekvalitetnu filtraciju većih čestica nečistoća iz sustava, koje su davale patogenima mogućnost razvoja i onečišćenja sustava.



Slika 17. Prikaz salate na kraju uzgojnog perioda, iz akvaponskog sustava (lijevo) i iz kontrolne hidroponske jedinice (desno) (Foto: Megla, M.)

3.3. Interpretacija rezultata

U pogledu održavanja sustava funkcionalnim, posebna pažnja se treba posvetiti zahtjevima riba i uzgajanoj biljnoj kulturi koje se razlikuju u svojim potrebama. Manjak kisika ili nepovoljni pH dovode do ugibanja riba i nitrificirajućih bakterija. Česti problem u recirkulirajućem akvaponskom sustavu je nedostatak nutrijenata za rast biljaka (Foucard, 2017.). Potrebno je pravilno upravljati, odnosno, održavati sustav kako bi se izbjegla pojava bolesti i stvorili optimalni uvjeti za rast riba, biljaka i bakterija. Održavanje takvog sustava uključuje čišćenje bazena s vodom, čišćenje i zamjenu pumpi, održavanje temperature vode, razine pH, kao i kontrolu koncentracije amonijaka i prisutnosti štetnih mikroorganizama, algi i slično (Kovačević, 2015.). Također, u slučaju potrebe nije moguće koristiti uobičajena sredstva za zaštitu bilja kao ni sredstva za zaštitu riba od parazita, ali se mogu koristiti biološki načini zaštite (otporni kultivari, prirodni neprijatelji), fizičke barijere i sl. (Turkmen i Guner, 2010.).

Iz rezultata je vidljivo kako su u akvaponskom sustavu pH vrijednosti te koncentracija kisika i nitrita u pojedinim periodima bili vrlo nestabilni. Može se pretpostaviti da je upravo ta nestabilnost sustava pružila mogućnost razvoju patogena i smanjila prinos salate u akvaponu. Za pravilnu funkciju akvaponskog sustava nužno je osigurati kvalitetnu mehaničku filtraciju. Visoka koncentracija nitrita u akvaponskom sustavu može se pripisati nedovoljnom broju nitrificirajućih bakterija u biofilteru tj. neadekvatnoj uspostavi biološke filtracije. Niska koncentracija kisika moguć je uzrok ugibanju, odnosno, smanjenom razvoju nitrifikacijskih bakterija u biofilteru. Fizikalno-kemijski rezultati vode ukazuju na nestabilan akvaponski sustav obzirom na zahtjeve ribe i salate.

4. ZAKLJUČCI

- Fizikalni i kemijski parametri akvaponskog sustava značajno su se razlikovali u odnosu na kontrolnu hidroponsku jedinicu.
- Tijekom istraživanja zabilježene su visoke koncentracije pojedinih kemijskih parametara (amonijak, nitriti) u akvaponskom sustavu te česte niske koncentracije otopljenog kisika u vodi pri usporedbi s optimalnim za uzgajanu riblju vrstu.
- Potrebe dvije različite vrste živog organizma u akvaponskom sustavu zbog svojih razlika mogu prouzročiti problem u samom održavanju takvog sustava.
- Pojava patogena u akvaponskom sustavu rezultat je neuspješnog održavanja kompleksnog sustava u skladu sa optimalnim vrijednostima fizikalnih i kemijskih parametara uzgajanih vrsta.

5. LITERATURA

1. Antal A., Istvan T. (1974). ABC Ribnjačarstva. Izdavački odjek „Glasa Slavonije“. Osijek.
2. Brooks M.J. (2015). Nutrient Supplementation in Commercial Organic Aquaponics. Green River Greenhouse, Peru, Indiana. <<http://www.greenrivergreenhouse.com/nutrient-supplementation-in-commercial-organic-aquaponics-part-2/>> Pristupljeno: 25. lipnja 2017.
3. David D.L., Edward A., Addass P.A., Jesse C. (2010). Some aspects of water quality and the biology of *Clarias gariepinus* in Vintim Stream, Mubi Adamawa State, Nigeria. World Journal of Fish and Marine Sciences 2 (2): 129-133.
4. Duangsawasdi M., Sripoomun C. (1981). Acute toxicities of ammonia and nitrite to *Clarias batrachus* and their interaction to chlorides, National Inland Fisheries Institute Bangkok, Thailand. Programme for the Development of Pond Management Techniques and Disease Control (DoF - UNDP/FAO THA/75/012) Thailand <<http://www.fao.org/3/contents/c8d5a938-3423-5b86-8f163aa00015e7f9/AB939E00.htm>> Pristupljeno: 17. svibnja 2017.
5. FAO. (2017). - Fisheries and Aquaculture Department <<http://www.fao.org/3/a-i4021e/i4021e03.pdf>> Pristupljeno: 16. lipnja 2017.
6. FAO. (2017). - Fisheries and Aquaculture Department <http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Clarias_gariepinus/en> Pristupljeno: 17. svibnja 2017.
7. FAO. (2017). – Fisheries and Aquaculture Department <<http://www.fao.org/3/a-i4021e/i4021e06.pdf>> Pristupljeno: 17. svibnja 2017.
8. Fiedrich I., Vignaroli T. (2015). Top ten mistakes made by aquaponic growers. Bright Agrotech. <<https://info.brightagrotech.com/top-10-mistakes-made-by-aquaponic-growers>> Pristupljeno: 25. lipnja 2017.
9. Fishbase. (2017). – Fishbase ver 02/2017 <<http://www.fishbase.org/summary/1934>> Pristupljeno: 17. svibnja 2017.
10. Foucard P. (2017). COST FA1305 Training school 6 – 24-28/04/17 – La Canourgue (personal communication)
11. Goddek S., Delaide B., Mankasingh U., Ragnarsdottir K.V., Jijakli H., Thorarinsdottir R. (2015). Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. Sustainability. 7 : 4199-4224

12. Graber A., Junge R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production, ZHAW Zurich University of Applied Sciences, Institute for Natural Resource Sciences Gruental, CH-8820 Waedenswil, Switzerland. Science Direct, Desalination 246 (2009) 147–156
13. Kovačević V. (2015). Mineralni sastav radiča i salate iz uzgoja u akvaponu i plutajućem hidroponu. Diplomski rad. Agronomski Fakultet Sveučilišta u Zagrebu
14. Kroupova H., Machova J., Svobodova Z. (2005). Nitrite influence on fish: a review. Vet. Med. – Czech, 50, 2005 (11): 461–471
15. Lennard W. (2012). Aquaponics System Design Parameters: Basic System Water Chemistry. <<https://www.aquaponic.com.au/Water%20Chemistry.pdf>> Pristupljeno: 25. lipnja 2017.
16. Lešić R., Borošić J., Buturac I., Herak Č.M., Poljak M., Romić D. (2004). Povrćarstvo: skripta, udžbenik. Čakovec; Zrinski d.d., 436-438.
17. Maynard, D. N., Hochmuth, G. J. (1997). Knott's handbook for vegetable growers, 4th edition. Wiley, New York.
18. Molleda M.I., Thorarensen H., Johansson R. (2007). Water quality in recirculating aquaculture systems for arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) culture. Final Project. Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP), Ciudad de la Habana, Cuba.
19. Narodne novine (2013). Zakon o zaštiti prirode: Članak 86. Zagreb: Narodne novine d.d., 80/2013
20. Okomoda V.T., Tihamiyu L.O., Iortim M. (2016). The effect of water renewal on growth of *Clarias gariepinus* fingerlings, Department of Fisheries and Aquaculture, University of Agriculture, Makurdi, Nigeria. Croatian Journal of Fisheries 25-29
21. Olaifa F. E., Olaifa A.K., Lewis O.O. (2003). Toxic stress of lead on *Clarias gariepinus* fingerlings. Department of Wildlife and Fisheries Management, University of Ibadan. African Journal of Biomedical Research, Vol. 6; 101 –104
22. Olufeagba S.O., Okomoda V.T., (2016). Canibalism and performance evaluation between hybrids *Clarias batrachus* and *Clarias gariepinus*. Department of Fisheries and Aquaculture, University of Agriculture, Makurdi, Nigeria. Croatian Journal of Fisheries 74, 124-129
23. Rakocy J. (2012). Aquaculture Production Systems, First Edition. John Wiley & Sons, Inc., 344-383
24. Rakocy, J.E. (1999). Aquaculture engineering: The status of aquaponics, Part 1. Aquacult. Mag. 25:83–88.

25. Reasons P. (2014). Integrated Aquaponics Water & Soil Fertility. Morning Star Fishermen Aquaponics research and training. <http://pinellas.ifas.ufl.edu/documents/Aquaponics_PartTwo.pdf> Pristupljeno: 25. Lipnja 2017.
26. Sciencefair Water (2017). - Gordon Snyder & Consultants, Inc. <<http://sciencefairwater.com/physical-water-quality-parameters/water-temperature/water-temperature-effects-on-fish-and-aquatic-life/>> Pristupljeno: 15. lipnja 2017.
27. Timmons, M.B. and Ebeling, J.M. (2010). Recirculating aquaculture. NRAC Publications No. 401-2010
28. Turkmen, G., Guner, Y. (2010). Aquaponic (Integrating Fish and Plant Culture) Systems, International Symposium on Sustainable Development, Science Book, 657-666.
29. Tyson R. (2014). Natural Resources Section, Aquaponics 101. University of Florida, IFAS Extension Orange County. Proc. Fla. State Hort. Soc. 127:226–229.

ŽIVOTOPIS

Marija Megla rođena je 29.04.1992. u Bjelovaru. Pohađala je Gimnaziju Bjelovar od 2006. do 2010. godine. Fakultetsko obrazovanje započela je 2010. godine kada upisuje preddiplomski studij „Biljne znanosti“ na Agronomskom fakultetu. 2015. godine završava preddiplomski studij i iste godine upisuje diplomski studij „Ribarstvo i lovstvo“ na istom fakultetu. 2017. godine pohađa „COST Action FA1305 Training School: Design, Maintenance and Risk Management of Aquaponics Systems: Animal-Plant Production and Fish Management“ u Francuskoj.

Kontakt e-mail: marijamegla1992@gmail.com